

ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA A PARTIR DE EQUAÇÕES EMPÍRICAS PARA O MUNICÍPIO DE BOTUCATU/SP

L.C. SANTOS¹, J.C. C. SAAD², J. J. CARVALHO³, R.Z. BARBOSA⁴, J. FERREIRA⁴

RESUMO: Com o presente trabalho objetivou-se avaliar o comportamento de métodos empíricos na estimativa da evapotranspiração de referência em comparação ao método de Penman Monteith FAO-56 para o município de Botucatu-SP. Para tanto, utilizou-se variáveis climáticas obtidas na Estação Climatológica do município em estudo, referentes ao ano de 2009. Para efeito de comparação foram considerados os parâmetros da equação de regressão (a e b), o coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância (d) e o índice de confiança ou desempenho (c), na escala diária. Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que o método de Hargreaves-Samanni deve ser utilizado na estimativa da ET_0 com restrições, já que este apresentou precisão de 0,66 quando comparado ao método de Penman Monteith. As demais metodologias demonstraram desempenho satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: Agrometeorologia, Variáveis Climáticas, Penman Monteith

EVAPOTRANSPIRATION STUDY REFERENCE FROM THE EQUATION FOR EMPIRICAL BOTUCATU / SP

ABSTRACT: The present work aimed to evaluate the behavior of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in comparison to Penman Monteith FAO-56 for the city of Botucatu-SP. Were used climatic variables obtained from the Climatological Station of the city under study, covering the year 2009. For comparison we considered the parameters of the regression equation (a and b), the coefficient of determination (r^2), correlation coefficient (r), estimated standard error (EEP), the agreement index (d) and the index of confidence or performance (c), the daily scale. The results of this study indicate that the method of Hargreaves-Samanni should be used in estimating ET_0 with restrictions, since it showed precision of 0.66 when compared to the Penman Monteith. The other methods showed satisfactory performance.

KEY-WORDS: Agrometeorology, Climatic Variables, Penman Monteith

INTRODUÇÃO

A estimativa adequada da evapotranspiração da cultura (ET_c) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, uma vez que totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura durante determinado período.

Para que a ET_c seja definida, é necessário antes de tudo a determinação da evapotranspiração de referência (ET_0), sendo que esta representa a perda de água para a

¹ Mestrando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural UNESP, CP 237, CEP 18610-307, Botucatu-SP, Fone (14) 88028643. E-mail: lucas.cs21@gmail.com;

² Prof. Doutor, Depto de Engenharia Rural, UNESP/Botucatu-SP. E-mail: joaosaad@fca.unesp.br;

³ Doutorando em Irrigação e Drenagem, Depto de Engenharia Rural, UNESP/Botucatu-SP. E-mail: jjc@fca.unesp.br;

⁴ Mestrandos em Irrigação e Drenagem, Depto de Engenharia Rural, UNESP/Botucatu-SP. E-mail: rogerio@fca.unesp.br, josue_ferreira@hotmail.com

atmosfera de uma área extensa coberta de grama com tamanho uniforme, com 8 a 15 cm de altura, em ativo crescimento, sombreando completamente o terreno e sem escassez de água (BERNARDO, 2006).

Na literatura existem diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, que de acordo com Burman et al., (1983) pode ser obtida a partir de medidas diretas ou estimada a partir de elementos climáticos, utilizando-se modelos ou métodos teórico- empíricos.

Estes modelos são equações desenvolvidas que na maioria das vezes não são universalmente aplicadas, sem as modificações ou calibrações, para cada situação de cultura ou condição climática, sendo, portanto, de fundamental importância a comparação e ajuste dos diferentes modelos para cada localidade onde se deseja utiliza-los.

Diante do exposto acima, buscou-se com esse trabalho avaliar o desempenho dos métodos empíricos: Penman Modificado – FAO 24, Radiação – FAO 24, Blaney-Criddle – FAO 24, Hargreaves-Samanni (1985), Priestley-Taylor, Makkink e Turc em relação ao método padrão de Penman Monteith – FAO 56 para as condições climáticas do município de Botucatu-SP.

MATERIAL E MÉTODOS

O clima do município de Botucatu é tido como tropical de altitude, com invernos amenos e verões quentes, com temperatura média diária do mês mais frio (julho) de 17,1°C e a do mês mais quente (fevereiro) de 23,3°C. A pluviosidade média é de aproximadamente 1300 mm/ano.

Os dados climáticos que compõe esse estudo foram coletados na Estação Climatológica de Botucatu situada na Latitude de 22° 51' Sul e na Longitude de 48° 26' Oeste, com 786 metros de altitude.

Para estimativa da ET_0 utilizou-se as seguintes variáveis climáticas: radiação solar acumulada, temperatura máxima, mínima e média do ar, umidade relativa máxima, mínima e média do ar e velocidade média do vento, referentes ao ano de 2009.

Com o propósito de tornar os dados agrometeorológicos utilizados mais homogêneos, foram eliminadas aquelas informações discrepantes, incompletas ou inconsistentes.

As variáveis mencionadas acima foram processadas no programa computacional REF-ET (ALLEN, 2000), utilizando-se os seguintes métodos: Penman

Modificado – FAO 24, Radiação – FAO 24, Blaney-Criddle - FAO 24, Hargreaves-Samanni (1985), Priestley-Taylor, Makkink (1957) e Turc (1961), os quais foram comparados com o método padrão Penman-Monteith – FAO 56, na escala diária.

Com os dados diários da ET_0 realizou-se análise de regressão onde correlacionou-se os valores obtidos pelos métodos testados com os do método padrão. A análise de desempenho dos métodos foi baseada nos parâmetros da equação de regressão (a e b) e na estimativa do erro padrão (EEP), sendo que, a precisão foi dada pelo coeficiente de determinação (r^2), o qual indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. A correlação entre os valores estimados foi feita com base em indicadores estatísticos, dado pelo coeficiente de correlação (r), a concordância foi estabelecida através do índice de Willmott (d), que está associado ao desvio entre os valores, e ainda o coeficiente de desempenho (c) que é o produto de r e d (CAMARGO E SENTELHAS, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os parâmetros avaliados neste trabalho, sendo que a hierarquização das estimativas da evapotranspiração foi feita com base nos valores dos coeficientes linear e angular (a e b) das respectivas regressões lineares, do coeficiente de determinação (r^2), do erro-padrão da estimativa (EEP), do coeficiente de correlação (r), do índice de concordância (d) e também pelo índice de confiança (c).

TABELA 1. Parâmetros da equação de regressão (a , b) coeficiente de determinação (r^2), estimativa do erro padrão (EEP), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança ou desempenho (c) para valores diários de ET_0

Métodos	a	b	r^2	EEP	r	d	c	Classificação*	ET_0 (mm.dia ⁻¹)	Diferença Relativa (%)
<i>Escala Diária</i>										
FAO 56 PM									3,33	100
Penman Mod.	-0,14	1,29	0,98	0,93	0,99	0,90	0,89	Muito Bom	4,16	124,9
Radiação	-0,41	1,45	0,85	1,43	0,92	0,81	0,74	Bom	4,42	133,9
B. Criddle	0,35	1,10	0,83	0,93	0,91	0,88	0,80	Bom	4,01	120,4
Harg-Samani	1,08	0,82	0,66	0,88	0,81	0,87	0,70	Mediano	3,80	114,1
P. Taylor	-0,03	1,02	0,89	0,43	0,94	0,97	0,91	Ótimo	3,37	101,2
Turc	0,47	0,95	0,78	0,69	0,88	0,92	0,81	Muito Bom	2,93	88,0
Makk	0,05	0,86	0,86	0,60	0,93	0,93	0,86	Muito Bom	3,65	109,6

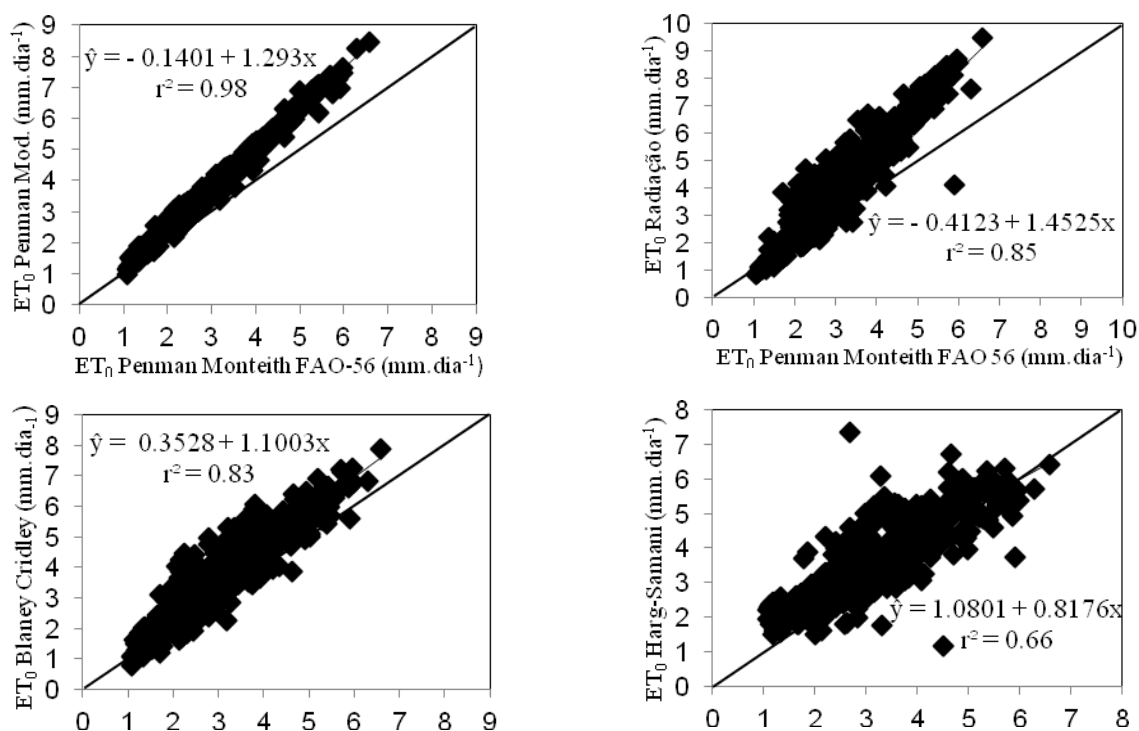
*Camargo e Sentelhas (1997)

De acordo com os dados encontrados na tabela acima, pode-se observar que com exceção do método de Hargreaves-Samanni que foi classificado como mediano, todos os outros métodos avaliados neste estudo, tiveram desempenho satisfatório. O método de Priestley-Taylor foi o que se comportou melhor, tendo apresentado a menor EEP, os parâmetros da equação (a e b) mais próximos a 0 e 1 respectivamente, e ainda a maior concordância entre todas as metodologias, sendo portanto, classificado como Ótimo para as condições climáticas de Botucatu-SP.

Os métodos de Penman Modificado, Makkink e Turc ficaram classificados como Muito Bons apresentando coeficientes de correlação iguais a 0,99; 0,93 e 0,88; respectivamente, mostrando bons ajustes a metodologia de Penman Monteith FAO 56.

Classificados como Bons, ficaram os métodos Radiação e Blaney Criddle com precisão de 0,85 e 0,83 respectivamente, conferida pelo coeficiente de determinação.

Na Figura 1 encontram-se as correlações entre valores diários de evapotranspiração de referência estimados pelos métodos estudados e os obtidos pelo método de Penman-Monteith – FAO 56.



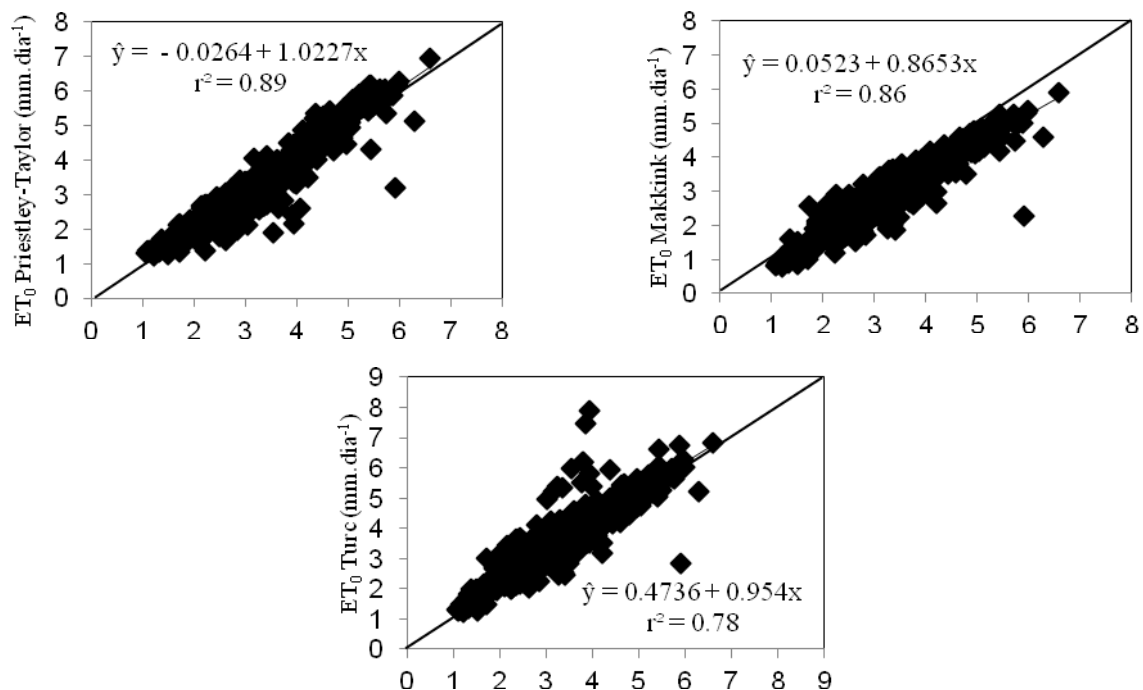


FIGURA 1. Relação entre a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman Monteith FAO-56 e pelos métodos de Penman Mod., Radiação, Blaney Criddle, Hargreaves-Samanni, Priestley-Taylor, Makkink e Turc, em Botucatu/SP durante o ano de 2009.

Analisando a Figura 1, pode-se observar que o método de Penman Mod. apesar de ter apresentado o maior índice de determinação dentre os métodos avaliados ($r^2 = 0,98$) não obteve a melhor classificação, sendo esta conferida apenas ao método de Priestley-Taylor, já que neste a linha de tendência praticamente sobrepôs à reta $x = y$, estando os pares dos pontos próximos a essa.

Verifica-se ainda que o método de Hargreaves-Samanni foi que o mostrou uma maior dispersão dos dados, apresentando assim a menor correlação dentre as metodologias avaliadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Mendonça et al. (2003), que encontraram coeficiente de determinação de 0,49, valor inferior ao encontrado neste estudo.

O resultado observado se justifica pelo fato deste método ter sido desenvolvido para estimar a ET_0 em regiões semi-áridas, condição climática diferente da observada em Botucatu/SP, cujo clima é classificado como sendo do tipo Cwa, ou seja, temperado quente (mesotérmico), de acordo com a classificação de Koppen (CUNHA et al., 1999). Para Conceição (2003), os métodos que empregam apenas a temperatura do ar limitam a representatividade das condições climáticas para efeito de estimativas da evapotranspiração de referência. Isso porque, conforme as condições de umidade

relativa do ar e do vento, a demanda hídrica atmosférica será diferente para os mesmos valores de temperatura do ar.

Ainda na figura 1 pode-se observar que com exceção do método de Turc, os métodos de Radiação, Penman Mod., Blaney-Criddle, Harg-Samani, Makkink e Priestley-Taylor apresentaram superestimativas de 32,7; 24,9; 20,4; 14,1; 9,6 e 1,2% respectivamente, em relação ao método padrão. A subestimativa do método de Turc ficou em 12%.

CONCLUSÕES

- Conclui-se que, com exceção da metodologia de Hargreaves-Samanni, todas as outras apresentaram alto grau de significância quando comparadas a metodologia de Penman Monteith FAO 56, sendo que o método de Priestley-Taylor foi o que demonstrou o melhor desempenho.
- Em função do desempenho inferior do método de Hargreaves-Samanni sua adoção deverá ser feita com restrição às condições climáticas do local estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. REF-ET: reference evapotranspiration calculator, Version 2.1. Idaho: Idaho University, 2000. 82p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625p.

BURMAN, R. D. et al. Water requeriments. In: JENSEN, M. E. **Design operation of farm irrigation system**. St. Joseph: Transactions of ASAE, 1983. p.189-232.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Revista brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria*, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Koppen. In: *Simpósio em Energia na Agricultura*, 1., 1999, Botucatu. Anais...Botucatu: FCA/UNESP, 1999. v.1, p. 487-490.

MENDONÇA, J.C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), na região norte fluminense, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Campina Grande, PB, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

SMITH, M. Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements: Rome: FAO, 1991. 54p.